
УДК 621.9 (075.8)

Обеспечение требуемой точности изготовления прецизионных изделий авиационной и ракетной техники путем управления температурными деформациями станков с числовым программным управлением

Марусич К. В.

Оренбургский государственный университет, ОГУ, пр. Победы 13, г. Оренбург, 460018, Россия

e-mail: mkv82@mail.ru

Аннотация

В данной работе изложены научно обоснованные технологические решения в области повышения точности обработки на металлорежущих станках, имеющие существенное значение для развития отечественного станкостроения. Разработанный алгоритм компенсации температурных деформаций станков с числовым программным управлением (ЧПУ) на основе использования прогнозных математических моделей позволяет обеспечить тепловые смещения вдоль оси шпинделя в пределах 10 мкм, независимо от продолжительности технологической операции, выполняемой на данном станке.

Ключевые слова

станок с ЧПУ, температурные деформации, алгоритм компенсации.

Основным направлением повышения точности изготовления прецизионных изделий авиационной и ракетной техники является улучшение качества используемого станочного оборудования. При этом определяющими показателями качества выступают производительность, точность и надежность. Эти показатели тесно связаны с протекающими в станке тепловыми процессами.

Температурные деформации составляют существенную долю в общем балансе погрешностей обработки на металлорежущих станках. В работах [1, 2] показано, что доля

погрешностей обработки вследствие температурных деформаций может составлять от 30 % до 70 % общей погрешности обработки.

По данным фирмы Kitamura, в высокоэффективных фрезерных центрах высокая и стабильная точность обработки поддерживается применением ряда устройств и технических решений. Стабильная температура основных рабочих органов поддерживается внутренней циркуляцией охлаждаемого масла или воздушно-масляной смеси (в зависимости от узла), и ее отклонение не превышает 1 °С, что допускает использование станка в трехсменном режиме работы. Кроме этого, специальная адаптивная система контроля и компенсации температурной деформации, состоящая из датчиков и системы слежения, позволяет автоматически обнаружить и компенсировать температурные смещения станины величиной до 5 мкм путем внесения соответствующей коррекции в систему числового программного управления (СЧПУ) станка.

Учет температурных деформаций станка на различных этапах его жизненного цикла позволяет повысить степень точности обработки детали не менее чем на два – три квалитета. Например, один из лидеров мирового станкостроения фирма «OKUMA» (Япония) разработала и запатентовала «термо-дружественную» (“Thermo-Friendly-Concept”) концепцию конструирования прецизионных станков. Основываясь на этой концепции, станки фирмы сохраняют высокую точность даже в условиях отсутствия термokonстантных помещений. Например, вертикальный обрабатывающий центр MB-46VA, созданный по данной концепции, гарантирует размерную точность обработки менее ± 10 мкм в течение непрерывной восьмичасовой работы станка. При этом колебания температуры окружающей среды допускаются в пределах 8 °С. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что без использования каких-либо методов температурной компенсации даже для прецизионных станков фирмы OKUMA температурные деформации существенно превышают 5-ти микронную отметку.

Традиционно, для станков с ЧПУ методы компенсации температурной деформации основываются на прогнозировании температурных перемещений по данным от температурных датчиков, устанавливаемых на станке. Для этого заранее устанавливается функциональная связь «перемещение – температура» $\delta(T)$. Однако, проведенные экспериментальные исследования доказали возможность получения больших погрешностей для данной методологии, т.к. функция $\delta(T)$ существенно зависит от циклограммы работы станка и тепловой нагрузки [3-5]. На рисунке 1 для кривых введены следующие обозначения: 1 - непрерывный режим работы на частоте 1600 об/мин; 2, 4 и 3 - переменные

тепловые режимы работы; 5 - повторно – кратковременный режим работы станка на частоте 1600 об/мин.

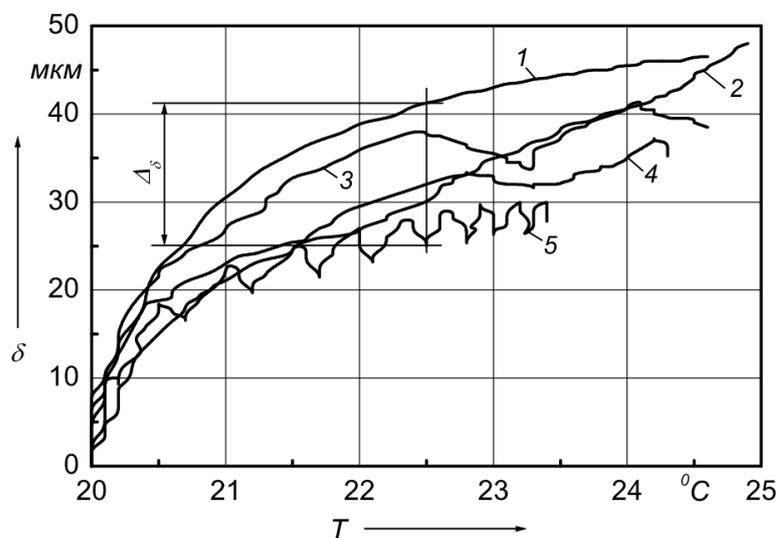


Рисунок 1 - Экспериментальные характеристики $\delta(T)$

Анализ характеристик $\delta(T)$ показывает, что для различных режимов работы станка может фиксироваться одно и то же значение температуры; однако при этом фиксируются различные температурные перемещения. В представленном варианте диапазон перемещений Δ_{δ} составляет более 50 % от минимального значения перемещения (в представленном варианте 25 мкм) при фиксированной температуре. Это означает, что только по показаниям термодатчика, без знания циклограммы работы станка, невозможно реализовать адекватный прогноз температурных перемещений.

На рисунке 2 представлена функциональная схема реализации коррекции температурной деформации станка на основе метода прогнозирования его тепловых характеристик. Схема включает семь основных блоков.

Задающий блок ЗБ определяет циклограмму работы станка и параметры точности детали для каждой поверхности с учетом переходов. Блок прогнозирования БП включает реализацию разработанного метода прогнозирования тепловых характеристик станка [6]. В блоке компенсации БК на основе алгоритма компенсации температурной деформации станка формируется система корректирующих воздействий. Блок внесения изменений БВИ вносит изменения в текст управляющей программы для СЧПУ. Отработка корректирующих воздействий в СЧПУ проявляется на перемещениях исполнительных устройств ИУ,

например шпиндельной головки. В качестве объекта управления ОУ в этом схеме выступают температурные смещения исполнительных устройств.

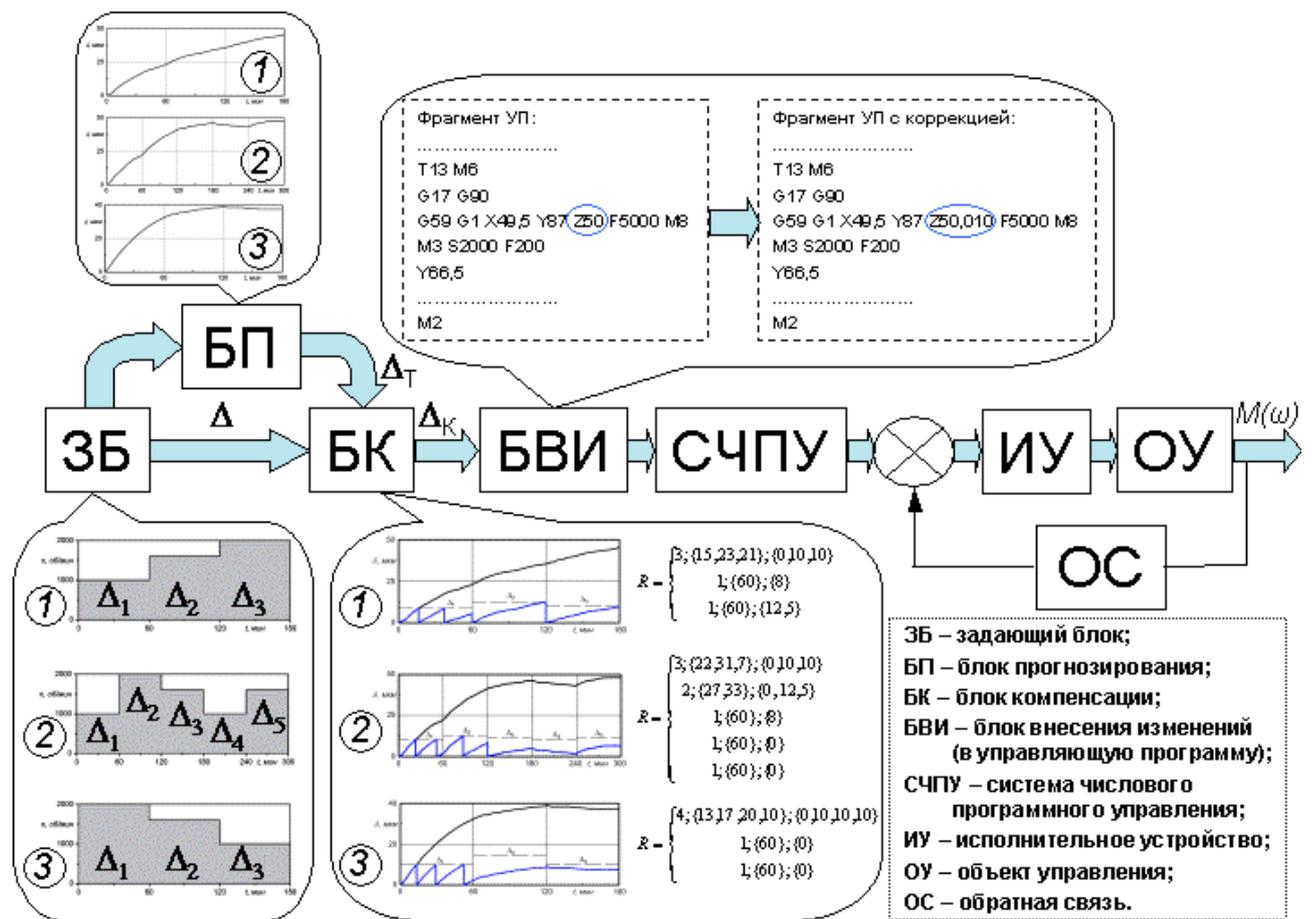


Рисунок 2 - Функциональная схема реализации коррекции температурной деформации станка на основе метода прогнозирования тепловых характеристик

На рисунке 3 приведена схема алгоритма компенсации температурной деформации станка, реализованного в БК. В предлагаемом алгоритме функция $\delta(T)$ не используется.

Алгоритм включает восемь основных блоков. В первом блоке исходных данных используются: чертежи заготовки и детали; технологический процесс обработки детали и управляющая программа для станка с ЧПУ. Это позволяет сформировать циклограмму работы станка и перейти ко второму блоку, в котором формируется вектор параметров точности детали для каждой поверхности с учетом технологических переходов, предусматриваемых технологическим процессом обработки детали. Следующий третий блок включает в себя циклически повторяющуюся процедуру построения прогнозируемой тепловой характеристики станка для одной координаты. В четвертом блоке формируется вектор параметров обеспечиваемой выходной точности станка для каждой поверхности с

учетом перехода. Из исследований ученых А. С. Проникова, Д. Н. Решетова, В. С. Стародубова и др. установлено, что в общем балансе точности обработки влияние станка составляет до 40 %.

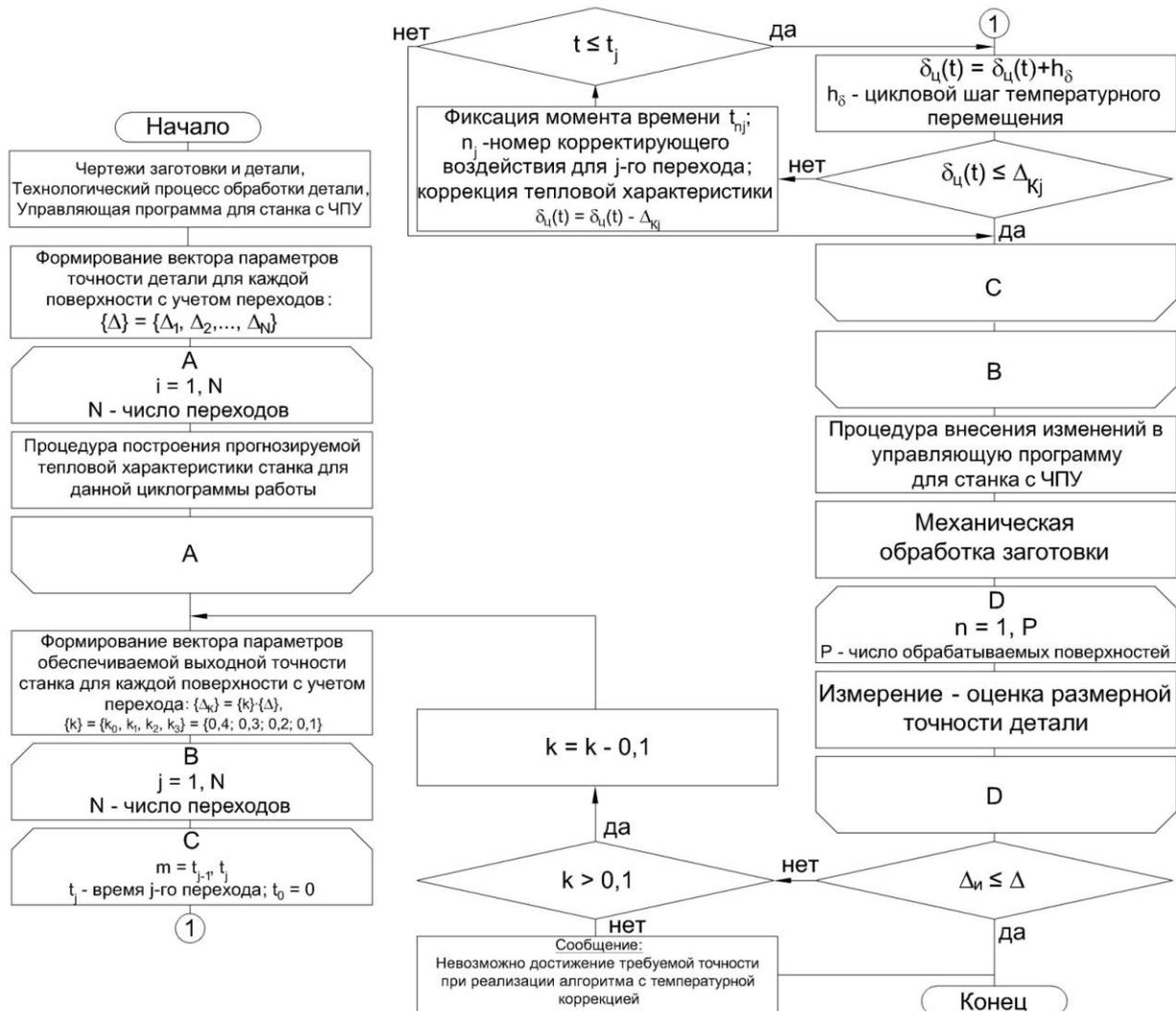


Рисунок 3 - Схема алгоритма компенсации температурной деформации станка

Это позволяет сформировать вектор параметров Δ_k , который выступает в качестве вектора требуемой размерной точности, и он же определяет величину корректирующего воздействия. Количественные значения компонентов вектора Δ_k устанавливаются в относительном соотношении к величине допуска на размер:

$$\Delta_k = \{k\} \{\Delta\}, \text{ где } \{k\} = \{k_0, k_1, k_2, k_3\} \quad (1)$$

Параметр $\{k\}$ позволяет задать собственное влияние станка в общем балансе точности. Чем меньше значение $\{k\}$, тем выше требования к точности обработки. В данном алгоритме приняты четыре уровня точности. Переход от одного уровня к другому осуществляется циклически по результатам измерений в цикле D. В разработанном алгоритме шаг итерации задается в цикле A.

В пятом блоке циклически, в зависимости от перехода, осуществляется построение скорректированного температурного перемещения $\delta_y(t)$. На каждом временном шаге осуществляется проверка условия выхода прогнозируемого температурного перемещения за границы Δ_k . При выходе за установленные пределы Δ_k фиксируется момент времени t_{ij} и выполняется коррекция прогнозируемой тепловой характеристики:

$$\delta_y(t) = \delta_y(t) - \Delta_{kj} \quad (2)$$

где Δ_{kj} – величина корректирующего воздействия Δ_k для j -го перехода или участка циклограммы.

Индексация корректирующего воздействия i выполняется автоматически и для каждого j -го перехода различна. Количество корректирующих воздействий на каждом участке циклограммы определяется исходя из величины прогнозируемых перемещений, величины размерной точности Δ_k и длительности участка циклограммы.

В шестом блоке реализуется процедура внесения в управляющую программу для станка с ЧПУ по сформированным векторам времени $\{t_{n_j j}\}$ и векторам корректирующих воздействий для каждого перехода $\{\delta_{kj}\}$.

Седьмой блок – это реализация механообработки на станке по скорректированной программе для стойки ЧПУ. В восьмом блоке осуществляется измерение каждого размера детали, по результатам которого вносятся изменения в величину корректирующих воздействий Δ_k .

Обеспечение требуемой точности изготовления прецизионных изделий авиационной и ракетной техники путем управления температурными деформациями станков с ЧПУ представлено на рисунке 4.

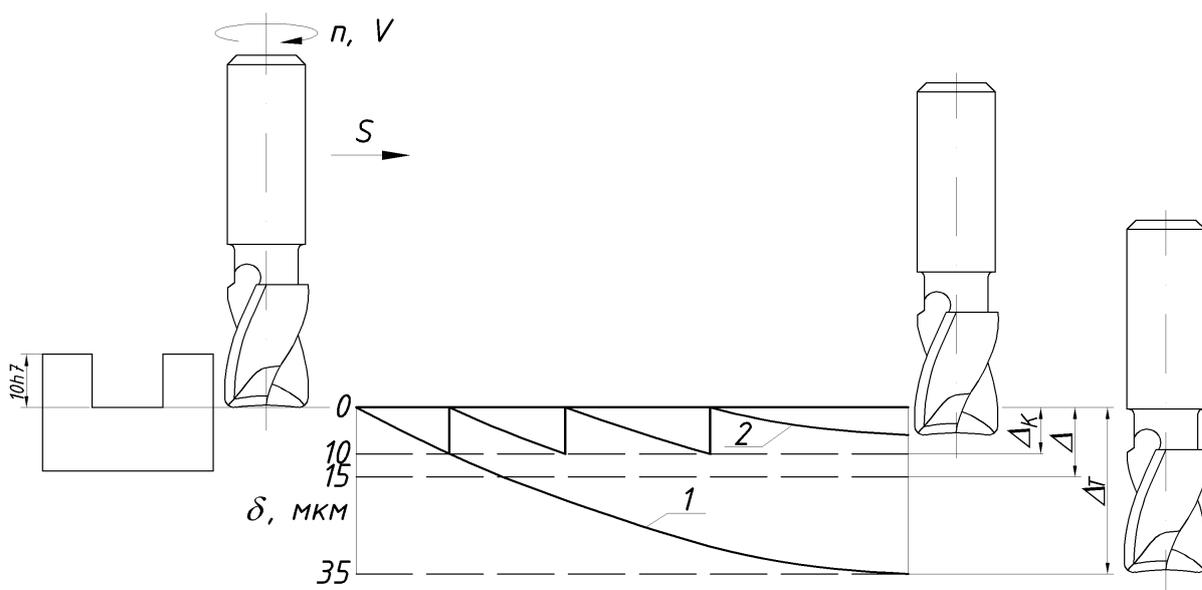


Рисунок 4 - Результат применения алгоритма компенсации

Тепловая характеристика без внесения компенсации температурной деформации станка индексирована 1. Величина достигаемой в этом случае температурной деформации Δ_T . Допуск на размер - Δ . Конечная тепловая характеристика с учетом компенсации температурной деформации имеет вид ломанной кривой 2. В этом случае величина допуска на заданный размер составит Δ_k .

Разработанный алгоритм компенсации температурных деформаций станков с ЧПУ на основе использования прогнозных математических моделей позволяет обеспечить тепловые смещения вдоль оси шпинделя в пределах 10 мкм, независимо от продолжительности технологической операции, выполняемой на данном станке.

Библиографический список

1. Пивовар Л. Е. Влияние тепловых деформаций на точность токарных многошпиндельных автоматов / Л. Е. Пивовар // Известия Вузов. Машиностроение. - 1982. - №4. - С. 147-149.
2. Пуш А. В. Прогнозирование тепловых смещений шпиндельных узлов / А. В. Пуш // Станки и инструмент. - 1985. - №5. - С. 15-19.
3. Поляков А. Н. Исследование тепловых деформаций в металлорежущих станках / А. Н. Поляков, А. Н. Гончаров, К. В. Марусич // Технология машиностроения. - 2011. - №2. - С. 16-22.

4. Поляков А. Н. Исследование термдеформационного состояния металлорежущего станка в условиях переменных тепловых режимов работы / А. Н. Поляков, К. В. Марусич, С. В. Каменев // Справочник. Инженерный журнал. - 2011. - №11. -С. 45-53.
5. Марусич К. В. Исследование термдеформационного состояния металлорежущего станка : Испытания, тепловые характеристики и закономерности / Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. - 90 с.
6. Марусич К. В. Прогноз температурных перемещений станков, работающих в условиях переменных тепловых режимов / К. В. Марусич // Обработка металлов. - 2011. - №4. - С. 74-77.
7. Марусич К. В. Об управлении температурными смещениями исполнительного органа металлорежущего станка / К. В. Марусич // Вестник науки Сибири. - 2012. - Т. 2. - № 1. - С. 358-364.